

(19)日本国特許庁(J P)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-242803

(43)公開日 平成6年(1994)9月2日

(51)Int.Cl. <sup>1</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B 13/02	N	9131-3H		
	B	9131-3H		
G 0 5 D 3/12	3 0 5 V	9179-3H		
	3 0 6 Z	9179-3H		
H 0 2 P 5/00	X	9063-5H		

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

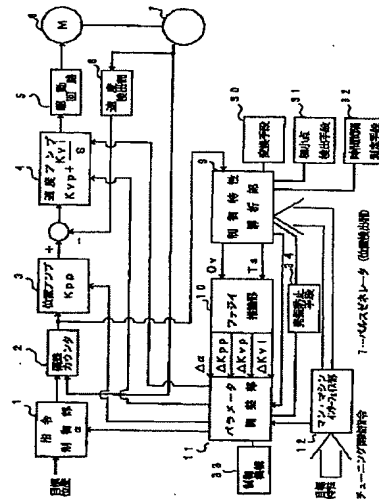
(21)出願番号	特願平5-26979	(71)出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22)出願日	平成5年(1993)2月16日	(72)発明者	妻鹿 浩尚 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
		(72)発明者	久保田 三郎 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
		(74)代理人	弁理士 石原 勝

(54)【発明の名称】 自動調整サーボ制御装置

(57)【要約】

【目的】 制御パラメータを自動的に調整する自動調整サーボ制御装置を提供すること。

【構成】 サーボ動作曲線からオーバーシュート量と整定時間との現在値を演算する制御特性解析部9と、メンバーシップ関数を使用して前記オーバーシュート量と整定時間との現在値に基づいて、制御パラメータの現在値からの修正量を演算するファジィ推論部10と、前記ファジィ推論部10の演算結果を受けて制御パラメータの修正値と加速度の修正値を出力するパラメータ調整部11と、加速度を初回値は目標値より充分に低い値として順次最適値に修正し、制御パラメータを初回値は任意の値として順次最適値に修正するように、修正を繰り返す、最適制御パラメータと加速度とを決定する制御機構33とを有する。



#### 【特許請求の範囲】

【請求項１】 モータを制御してサーボ制御対象物の移動を各時刻の目標位置に一致させるために、前記サーボ制御対象物の現在位置をサンプリングする周期毎に、設定加速度と設定最高速度とに基づき位置指令値を出力する指令制御部と、位置制御ループと、速度制御ループとを有するサーボ制御装置において、サーボ動作曲線からオーバーシュート量と整定時間の現在値を演算する制御特性解析部と、目標値と許容範囲とを横軸に設定したオーバーシュート量と整定時間のメンバーシップ関数を使用し、前記オーバーシュート量と整定時間の現在値に基づいて、前記指令制御部が使用する加速度と、前記位置制御ループと速度制御ループとが使用する制御パラメータとの現在値からの修正量を演算するファジィ推論部と、前記ファジィ推論部の演算結果を受けて制御パラメータの修正値を前記位置制御ループと速度制御ループに出力し、更に、加速度の修正値を前記指令制御部に出力するパラメータ調整部と、加速度を初回値は目標値より十分に低い値として順次最適値に修正し、制御パラメータを初回値は任意の値として順次最適値に修正するように、前記の指令制御部と制御特性解析部とファジィ推論部とパラメータ調整部との動作を制御して、サーボ動作を繰り返し、それによって、制御パラメータと加速度との修正を繰り返して、加速度と最適制御パラメータとを前記目標値及び前記許容範囲を満足できるように修正する制御機構を有することを特徴とする自動調整サーボ制御装置。

【請求項２】 オーバーシュート量と整定時間の目標値と許容範囲とを変更・設定するマン・マシン・インターフェース部と、このマン・マシン・インターフェース部からの前記の変更・設定の指示に対応して、オーバーシュート量と整定時間のサンプリング値を変換し、この変換したオーバーシュート量と整定時間とを使用してファジィ推論すると、見掛け上は、メンバーシップ関数の横軸の目盛りを前記の変更・設定の指示に対応して比例変換したり横にシフトした場合と同様の結果が得られるようにする変換手段とを設ける請求項１に記載の自動調整サーボ制御装置。

【請求項３】 サーボ動作曲線の極小点を検出する極小点検出手段と、隣接する極小点間の時間間隔を求める時間間隔測定手段と、前記測定された時間間隔の変化量が設定範囲内にある極小点が所定回数以上繰り返し出現する場合には発振とみなし、パラメータ調整部において、制御パラメータの可変範囲の最大値を逐減して発振を防止する発振防止手段とを設ける請求項１又は２に記載の自動調整サーボ制御装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【０００１】

【産業上の利用分野】 本発明は、ロボット等の位置決めシステムに用いられるサーボ制御装置に関し、特に、制

御パラメータ等を自動調整する自動調整サーボ制御装置に関するものである。

#### 【０００２】

【従来の技術】 ロボット等の位置決めシステムに用いられる従来例のサーボ制御装置の構成と動作とを図１９に基づいて説明する。

【０００３】 図１９において、制御対象物を各時刻の目標位置に一致させるようにモータ６を制御するために、目標位置を指示された指令制御部１が、別に設定された加速度及び最高速度に基づいて各時刻の位置指令を出力する。偏差カウンタ２が、前記の位置指令と、位置検出器７からの位置データとを受けてこれらの偏差を演算し、演算した偏差を出力する。位置アンプ３が、偏差カウンタ２の出力を受けて、位置アンプ比例ゲイン $K_{pp}$ を比例演算し、速度指令値を出力する。速度アンプ４が、位置アンプ３から受けた速度指令値と、速度検出器８からの速度データとの差に応じて、比例・積分演算を行い、速度アンプ比例ゲイン $K_{vp}$ と、速度アンプ積分ゲイン $K_{vi}/S$ とを出力する。Ｓはラプラス変換を表す。駆動回路５が、前記の速度アンプ比例ゲイン $K_{vp}$ と速度アンプ積分ゲイン $K_{vi}$ とに基づいて、モータ６を駆動する。

【０００４】 制御対象の位置決めシステムによって慣性負荷や摩擦抵抗等が異なるので、目標の制御特性を得るには、位置アンプ３の位置アンプ比例ゲイン $K_{pp}$ と、速度アンプ４の速度アンプ比例ゲイン $K_{vp}$ と、速度アンプ積分ゲイン $K_{vi}$ との演算を調整する必要がある。従来例では、この調整を熟練者が行っている。この調整の主な方法には、実際に動かす条件下でシステムを動かし、その動作曲線をオシロスコープ等で観察しながらボリュームを回す等によって前記の各制御パラメータの演算を調整する方法と、速度制御ループ、位置制御ループの順に、ステップ状の指令値を与え、その応答特性によって前記の各制御パラメータの演算を調整する方法とがある。

#### 【０００５】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記の従来例の構成では、制御特性の目標が高度な程、制御パラメータの演算の調整に多大の時間を要するという問題点がある。特に、前記調整方法の後者の方法は、十分に熟練した者でないと難しいという問題点があり、又、前者の方法では、調整精度が高くなく、個人差があるという問題点がある。

【０００６】 又、高速に位置決めするには、加速度を高くする必要があるが、加速度を高くし過ぎると、発振を起こし振動が発生するので、発振を起こさない限界値を見出す必要があり、その作業にも多大な時間を要するという問題点がある。

【０００７】 本発明は、上記の問題点を解決し、制御パラメータを自動的に調整すると共に、発振を起こす限界

の加速度を自動的に調べて発振を自動的に防止できる自動調整サーボ制御装置を提供することを課題としている。

【０００８】

【課題を解決するための手段】 本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の課題を解決するために、モータを制御してサーボ制御対象物の移動を各時刻の目標位置に一致させるために、前記サーボ制御対象物の現在位置をサンプリングする周期毎に、設定加速度と設定最高速度とに基づく位置指令値を出力する指令制御部と、位置制御ループと、速度制御ループとを有するサーボ制御装置において、サーボ動作曲線からオーバーシュート量と整定時間の現在値を演算する制御特性解析部と、目標値と許容範囲とを横軸に設定したオーバーシュート量と整定時間のメンバーシップ関数を使用し、前記オーバーシュート量と整定時間の現在値に基づいて、前記指令制御部が使用する加速度と、前記位置制御ループと速度制御ループとが使用する制御パラメータとの現在値からの修正量を演算するファジィ推論部と、前記ファジィ推論部の演算結果を受けて制御パラメータの修正値を前記位置制御ループと速度制御ループに出力し、更に、加速度の修正値を前記指令制御部に出力するパラメータ調整部と、加速度を初回値は目標値より十分に低い値として順次最適値に修正し、制御パラメータを初回値は任意の値として順次最適値に修正するように、前記の指令制御部と制御特性解析部とファジィ推論部とパラメータ調整部との動作を制御して、サーボ動作を繰り返し、それによって、制御パラメータと加速度との修正を繰り返して、加速度と最適制御パラメータとを前記目標値及び前記許容範囲を満足できるように修正する制御機構を有することを特徴とする。

【０００９】又、本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の課題を解決するために、オーバーシュート量と整定時間の目標値と許容範囲とを変更・設定するマン・マシン・インターフェース部と、このマン・マシン・インターフェース部からの前記の変更・設定の指示に対応して、オーバーシュート量と整定時間のサンプリング値を変換し、この変換したオーバーシュート量と整定時間とを使用してファジィ推論すると、見掛け上は、メンバーシップ関数の横軸の目盛りを前記の変更・設定の指示に対応して比例変換したり横にシフトした場合と同様の結果が得られるようにする変換手段とを設けることが好適である。

【００１０】又、本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の課題を解決するために、サーボ動作曲線の極小点を検出する極小点検出手段と、隣接する極小点間の時間間隔を求める時間間隔測定手段と、前記測定された時間間隔の変化量が設定範囲内にある極小点が所定回数以上繰り返し出現する場合には発振とみなし、パラメータ調整部において、制御パラメータの可変範囲の最大値を逐

減して発振を防止する発振防止手段とを設けることが好適である。

【００１１】

【作用】 本発明の自動調整サーボ制御装置は、従来は熟練者が手作業で行っていた制御パラメータの演算の調整を、実際のサーボ動作と、制御パラメータと加速度との修正を自動的に繰り返すオートチューニングによって、最適制御パラメータと加速度とを決定できる下記の作用を有する。

【００１２】サーボ制御装置において、任意の負荷に対して制御パラメータのオートチューニングを行う場合、機器の性能から事前に求め得る無負荷での最適制御パラメータからオートチューニングをスタートすると、負荷の増大に従って発振が起り振動を発生する場合がある。オートチューニングを行うには、この発振が起らない条件の設定が必要である。検討の結果、加速度を低くして位置制御ループのゲインを低ゲインにしておけば、速度制御ループは任意のゲインでも発振しない。従って、本発明では、モータを制御してサーボ制御対象物の移動を各時刻の目標位置に一致させるために、前記サーボ制御対象物の現在位置をサンプリングする周期毎に、設定加速度と設定最高速度とに基づく位置指令値を出力する指令制御部と、位置制御ループと、速度制御ループとを有するサーボ制御装置において、制御機構が、装置全体を制御して、加速度を初回値は目標値より十分に低い値として順次最適値に修正し、制御パラメータを初回値は任意の値として順次最適値に修正するように、サーボ動作を繰り返し、それによって、制御パラメータと加速度との修正を繰り返して、加速度と最適制御パラメータとを前記目標値及び前記許容範囲を満足できるように修正している。

【００１３】オートチューニングの目標は、サーボ動作曲線のオーバーシュート量と整定時間とに目標値と許容範囲を満足させることなので、本発明では、制御特性解析部が、サーボ動作曲線からオーバーシュート量と整定時間との現在値を演算し、これらの現在値をベースにオートチューニングしている。

【００１４】又、サーボ制御装置において、任意の負荷に対して制御パラメータのオートチューニングを行う場合、制御対象システムによって、目標とする制御性能が異なるために、それに応じてチューニングの規則を変える必要がある。ステップ対応でシステムを同定する場合、制御性能と目標値の相違に対応できるソフトウェアを作って最適制御パラメータを演算することは極めて煩雑・困難で、実現性が無い。従って、本発明では、ファジィ推論部が、オーバーシュート量と整定時間との目標値と許容範囲とを横軸に設定したメンバーシップ関数を使用し、前記オーバーシュート量と整定時間との現在値に基づいて、前記指令制御部が使用する加速度と、前記位置制御ループと速度制御ループとが使用する制御パラ

メータとの現在値からの修正量を演算している。

【0015】又、パラメータ調整部が、前記ファジィ推論部の修正量を受けて、制御パラメータの修正値を演算して前記位置制御ループと速度制御ループに出力し、更に、加速度の修正値を演算して前記指令制御部に出力する。

【0016】このようにして、前記の制御機構が、装置全体を制御して、実際のサーボ動作と、制御パラメータと加速度との修正を繰り返すと、最適制御パラメータと加速度とが得られる。

【0017】又、本発明の自動調整サーボ制御装置は、制御対象システムによって、又、オートチューニングの過程で、オーバーシュート量と整定時間との目標値と許容範囲とを変更する必要があることがある。本発明では、オーバーシュート量と整定時間との目標値と許容範囲とは、メンバーシップ関数の横軸、即ち、メンバーシップ関数の三角形の頂点の位置と底辺の幅とに設定されている。前記目標値と許容範囲との変更の都度、メンバーシップ関数の三角形の頂点の位置と底辺の幅とを変更することは極めて困難である。これに対して、本発明では、変更・設定されたオーバーシュート量と整定時間とにに合わせて、逆に、サンプリングされたオーバーシュート量と整定時間とを変換して使用し、見掛け上は、メンバーシップ関数の横軸の目盛りを比例変換したり横にシフトしてメンバーシップ関数の三角形の頂点の位置と底辺の幅とを変更し、メンバーシップ関数そのものを変更したと同じ結果を得ている。そして、変更・設定の指示は、マン・マシン・インターフェース部が行い、サンプリングされた実際のオーバーシュート量と整定時間との変換は、前記制御特性解析部に設けた変換手段によって行っている。

【0018】又、本発明の自動調整サーボ制御装置は、オートチューニング中に起こる発振の対策が必要である。まず、サーボ曲線のオーバーシュートが、低ゲインのための追従遅れによるものか、高ゲインのための発振によるものかの判定が必要である。サーボ曲線のオーバーシュートが発振である場合には、当然、前記サーボ動作曲線の極小点は発振の周期で出現するので、本発明では、制御特性解析部に極小点検出手段を設けてサーボ動作曲線の極小点を検出し、又、制御特性解析部に時間間隔測定手段を設けて隣接する極小点間の時間間隔を求め、前記測定された時間間隔の変化量が設定範囲内にある極小点が所定回数以上繰り返し出現する場合は発振とみなしている。発振が発生するのは、制御パラメータが大き過ぎる場合か、加速度が大き過ぎる場合なので、本発明では、パラメータ調整部において、制御パラメータの可変範囲の最大値を逐減して発振を防止する。

【0019】

【実施例】本発明の自動調整サーボ制御装置の一実施例の構成を図1に基づいて説明する。

【0020】図1において、モータ6を制御してサーボ制御対象物を各時刻の目標位置に一致させるように、指令制御部1が、別に設定された加速度 $\alpha$ 及び最高速度に基づいて各時刻の位置指令を出力する。偏差カウンタ2が、前記の位置指令と、位置検出器7のバルスゼネレータからの位置データとを受けてこれらの偏差を演算し、演算した偏差を出力する。位置アンプ3が、偏差カウンタ2の出力を受けて、その出力を位置アンプ比例ゲイン $K_{pp}$ 倍して、速度指令信号として出力する。

【0021】速度アンプ4が、位置アンプ3から受けた速度指令信号と、速度検出部8からの速度データとの差に応じ、伝達関数 $K_{vp} + K_{vi}/s$ に基づいて演算し、その結果をトルク指令信号として出力する。ここで $s$ は、ラプラス変換を表す。駆動回路5が、トルク指令信号に基づいて、モータ6を駆動する。

【0022】制御特性解析部9が、サーボ動作曲線からオーバーシュート量 $OV$ と整定時間 $T_s$ との現在値を演算し出力する。

【0023】ファジィ推論部10が、前記オーバーシュート量 $OV$ と整定時間 $T_s$ を受け、オーバーシュート量と整定時間との目標値と許容範囲とを横軸に設定した、即ち、図3、図4に示すように、 $ZR$ の三角形の頂点の横軸値を目標値とし、 $ZR$ の三角形の底辺を許容範囲としたメンバーシップ関数と、予め設定しておいたメンバーシップ関数図5～図8とファジィルール図9～図12に基づいて、前記オーバーシュート量 $OV$ と整定時間 $T_s$ との現在値から、現在の加速度 $\alpha$ 及び位置アンプ比例ゲイン $K_{pp}$ 、速度アンプ比例ゲイン $K_{vp}$ 、速度アンプ積分ゲイン $K_{vi}$ をどれだけ修正すれば、目標のオーバーシュート量 $OV$ と整定時間 $T_s$ に近づくかを推論する。

【0024】パラメータ調整部11が、前記ファジィ推論部10から出力される修正量、 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta K_{pp}$ 、 $\Delta K_{vp}$ 、 $\Delta K_{vi}$ を受けて、現在の $\alpha$ 、 $K_{pp}$ 、 $K_{vp}$ 、 $K_{vi}$ を修正し、これらの制御パラメータの修正値を前記位置アンプ3と速度アンプ4に出力し、更に、加速度の修正値を前記指令制御部1に出力する。

【0025】オーバーシュート量と整定時間との目標値と許容範囲とを変更・設定するマン・マシン・インターフェース部12を設け、このマン・マシン・インターフェース部12からの前記の変更・設定の指示によって、変更・設定されたオーバーシュート量と整定時間とに合わせて、サンプリングされた実際のオーバーシュート量と整定時間とを変換して使用し、見掛け上は、メンバーシップ関数の横軸の目盛りを比例変換したり横にシフトしてメンバーシップ関数の目標値と許容範囲とを変更した場合と同様の結果が得られるようにする変換手段30を制御特性解析部9に設ける。

【0026】サーボ動作曲線の極小点を検出する極小点検出手段31と、隣接する極小点間の時間間隔を求める

時間間隔測定手段32とを制御特性解析部9に設け、前記測定された時間間隔の変化量が設定範囲内にある極小点が所定回数以上繰り返し出現する場合には発振とみなす発振防止手段を設け、発振防止手段からの指令でパラメータ調整部11が、制御パラメータの可変範囲の最大値を過減して発振を防止する。

【0027】次に、前記の実施例を、図2に示す直行ロボットに適用した場合の動作を図1～図18に基づいて説明する。

【0028】図2において、Y軸テーブル13に、Y軸モータ14とY軸ボールネジ15とがあり、X軸テーブル16を、Y軸テーブル13に沿って、Y軸方向に移動させ、任意の位置に位置決めする。X軸テーブル16には、X軸モータ17とX軸ボールネジ18とがあり、可動体19を、X軸テーブル16に沿って、X軸方向に移動させ、任意の位置に位置決めする。可動体19には、作業ヘッド20が装着されている。この作業ヘッド20には、X軸方向に所定間隔Dを隔てて、作業位置を認識するための位置認識カメラ21と、所定の作業を行う作業用ツール22とが固定されている。図2の例では、位置認識カメラ21の軸心と、作業用ツール22の軸心とが、正確にX軸方向に沿った線上に配置されている。

```
if OV=NS 且つ Ts=ZR then ΔKpp=ZR
if OV=NS 且つ Ts=PS then ΔKpp=PS
if OV=NS 且つ Ts=PM then ΔKpp=PS
```

.

```
if OV=PL 且つ Ts=PL then ΔKpp=ZR
```

という意味を表している。尚、夫々の記号はファジラベルといい、NLは負に大きい、NMは負に中ぐらい、NSは負に小さい、ZRは略ゼロ、PSは正に小さい、PMは正に中ぐらい、PLは正に大きいという意味であり、入力 $OV$ と $Ts$ については、夫々の目標値に対する状態を表しており、例えば、ZRは略目標値という意味になる。

【0032】図3～図8において、図3、図4は、夫々ファジイ推論部10の入力である $OV$ と $Ts$ に関するメンバーシップ関数を表すグラフ、図5、図6、図7、図8は、夫々ファジイ推論部10の出力である $\Delta Kpp$ 、 $\Delta Kvp$ 、 $\Delta Kvi$ 、 $\Delta \alpha$ に関するメンバーシップ関数を表すグラフである。この場合、 $\Delta Kpp$ 、 $\Delta Kvp$ 、 $\Delta Kvi$ 、 $\Delta \alpha$ は、夫々の現在値 $Kpp$ 、 $Kvp$ 、 $Kvi$ 、 $\alpha$ に、図5、図6、図7、図8のメンバーシップ関数の横軸の値を掛けた値であり、例えば、 $\Delta Kpp$ において、推論結果が0.5であるとする、 $\Delta Kpp = 0.5 \times Kpp$ となる。

【0033】ファジイ推論部10は、図3～図8に示すメンバーシップ関数と、図9～図12に示すファジイルールに基づいて、MIN-MAX-重心法と呼ばれるファジイ演算方法によって推論を行う。

この作業ヘッド部20は、可動体19に対して高精度にX軸方向に移動可能に設置されており、その移動範囲は、位置認識カメラ21と作業ツール22との間隔Dに略対応している。又、この作業ヘッド部20を移動させて高精度に位置決めする精密モータ23と精密ボールネジ24からなる精密位置決め手段25が設けられている。

【0029】以下に、前記の実施例を、Y軸テーブル13のサーボ制御装置に使用した場合の動作を図1～図18に基づいて説明する。尚、X軸テーブル16と作業ヘッド部20（以下、H軸とする。）のサーボ制御装置にも同じように使用する、これらの動作は、Y軸テーブル13の場合と同様なので説明を省略する。

【0030】次に、ファジイ推論部10の動作を図3～図16に基づいて説明する。

【0031】図9～図12において、図9は、現在の $Kpp$ に対する修正量 $\Delta Kpp$ を求めるためのファジイルールである。図10、図11、図12は夫々現在の $Kvp$ に対する修正量 $\Delta Kvp$ 、現在の $Kvi$ に対する修正量 $\Delta Kvi$ 、現在の $\alpha$ に対する修正量 $\Delta \alpha$ を求めるためのファジイルールである。例えば、図9の場合、

【0034】 $OV=1.6\%$ 、 $Ts=8(ms)$ の場合の $\Delta Kpp$ の演算方法を図13に基づいて説明する。

【0035】まず、 $OV=1.6\%$ 、 $Ts=8(ms)$ が各メンバーシップ関数の夫々のファジラベルにどれだけ適合しているかを求める。図13より、 $OV=1.6\%$ は、ZRに対して適合度0.4、PSに対して適合度0.6であり、NS、PM、PLに対しては適合度0である。又、図14より、 $Ts=8(ms)$ は、ZRに対して適合度0.3、PSに対して適合度0.7であり、PM、PL、PLに対しては適合度0である。

【0036】次に、前記 $OV$ 、 $Ts$ の入力値の組合せが、各ルールにどれだけ適合しているかを求める。図16は、図9の $\Delta Kpp$ に関するファジイルールのうち上記の場合に成立するルールのみを表したものである。図16の数値は、各ルールの適合値であり、上記の各入力の適合度はMIN演算によって小さい方の適合度が採用されている。次に、図16に表された各ルールの適合度に基づき、図15に示すように、出力 $\Delta Kpp$ のファジイ量をMAX演算によって求め、重心法によって、その重心をとることにより、確定出力0.15が得られる。そして、 $Kpp$ の修正量 $\Delta Kpp$ は、前述のように、 $\Delta Kpp = 0.15 \times Kpp$ となる。同様にして、 $\Delta Kvp$

$p$ 、 $\Delta K_{vi}$ 、 $\Delta\alpha$ が求められる。

【0037】次に、制御特性解析部9の動作を図17により説明する。オートチューニングの実際の動作時に、偏差カウンタ2の出力を、サンプリング周期毎にメモリに記憶し、サーボ動作完了後、その動作データを順に読み出し、先ず最初に、図17に示すようなアンダーシュート量 $a$ を求め、これをオーバーシュート量 $OV'$ とする。即ち、 $OV' = (a/b) \times 100\%$ とする。次に、動作データが一定パルス数内（本実施例では、 $\pm 1$

$$OV = \{ (OV' - OV_{ref}) / \Delta OV_{ref} \} + 1 \quad (\text{但し、} 0 \leq OV \leq 20) \\ (\text{単位：パーセント}) \\ Ts = (Ts' - Ts_{ref}) / \Delta Ts_{ref} \quad (\text{但し、} 0 \leq Ts \leq 50) \\ (\text{単位：ms})$$

又、最初のアンダーシュート（極小点）の後、前記の一定パルス数の範囲を越えてアンダーシュート（極小点）がある場合は、隣接する極小点間の時間間隔を求め、この時間間隔の変化が、設定範囲内にあり、且つ、前記極小点が5回以上存在する場合には、発振があるとみなし、ファジイ推論部10への出力は、目標値どおりとし、図3、図4に示すように、 $OV = 1$ （%）、 $Ts = 0$ （ms）とすると共に、発振検出フラグをONし、パラメータ調整部11へ出力する。

【0039】次に、パラメータ調整部11の動作を説明する。パラメータ調整部11は、オペレータがマン・マシン・インターフェース部12を通してチューニング開始指令を入力することにより動作を開始する。最初は、ファジイ推論部10から推論結果がでる毎に、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_v$ 、 $\Delta\alpha$ に基づき $K_p$ 、 $K_v$ 、 $\alpha$ を修正する。 $K_p + \Delta K_p$ 、 $K_v + \Delta K_v$ 、 $\alpha + \Delta\alpha$ が修正値になる。そして、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_v$ 、 $\Delta\alpha$ の値が総て夫々一定の範囲内にいることが5回以上連続して続いた場合に、 $K_p$ 、 $K_v$ 、 $\alpha$ のチューニングは完了とみなす。

【0040】そして、上記の $K_p$ 、 $K_v$ 、 $\alpha$ のチューニングの間に、制御特性解析部9から発振検出フラグが入力された場合には、その時の $K_p$ 、 $K_v$ の夫々を0.9倍した値を、 $K_p$ 、 $K_v$ の可変範囲の最大値とし、その範囲内で、チューニングを繰り返す。そして、10回チューニングを繰り返しても、 $K_p$ 、 $K_v$ 、 $\alpha$ の少なくとも1つが一定範囲内に6回連続して収まらない場合には、 $\alpha$ をある一定値だけ下げ、再度チューニングを行う。 $K_p$ 、 $K_v$ 、 $\alpha$ のチューニング完了後は、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_v$ 、 $\Delta\alpha$ は無視し、 $\Delta K_{vi}$ に基づいて $K_{vi}$ を変更する。即ち、 $K_{vi} + \Delta K_{vi}$ が修正値になる。 $\Delta K_{vi}$ が0又は負の値となった場合、その時の $K_{vi}$ を記憶しておき、 $\Delta K_{vi}$ が0又は負の値となることが5回現れた時点で、チューニングを終了し、その記憶しておいた5回の $K_{vi}$ のうち最小の値を0.9倍した値を最終の $K_{vi}$ として設定する。

【0041】個々の動作は上記のとおりであるが、全体

0パルス内）に収まるまでの時間を求め、この時間を整定時間 $Ts'$ とする。そして、オペレータがマン・マシン・インターフェース部12を通して設定した $OV$ 、 $Ts$ の目標値 $OV_{ref}$ 、 $Ts_{ref}$ 及び夫々の許容範囲 $\Delta OV_{ref}$ 、 $\Delta Ts_{ref}$ に対し、次の演算式に基づいてファジイ推論部10への出力値 $OV$ 、 $Ts$ を決定する。

【0038】

の基本動作を纏めると、図18のフローチャートのようになる。

【0042】ステップ#1において、オペレータがチューニング開始指令を入力することによりチューニングがスタートし、ステップ#2に進む。

【0043】ステップ#2において、 $\alpha$ 、 $K_p$ 、 $K_v$ の初期値は、基本的には、モータ単体での最適値を予め調べておき、 $K_v$ はその調べた最適値とし、 $\alpha$ 、 $K_p$ 、 $K_v$ は、調べた最適値の1/3とする。但し、システムの特徴が予めある程度既知の場合には、オペレータはマン・マシン・インターフェース部12を通して、夫々の初期値を設定できる。設定が終了すると、ステップ#3に進む。

【0044】ステップ#3において、サーボ動作を1回行う。即ち、原点と目標位置との往復動作を1回行い、ステップ#4に進む。

【0045】ステップ#4において、制御特性解析部9が、ステップ#3のサーボ動作に基づいて、オーバーシュート量と整定時間とを計算し、ステップ#5に進む。

【0046】ステップ#5において、オーバーシュート量が目標値に適合するか否かを判定し、適合しておれば、ステップ#7に進み、否であれば、ステップ#6に進む。

【0047】ステップ#6において、ファジイ推論部10が、速度制御ループゲインの修正量を演算し、ステップ#3に戻る。

【0048】ステップ#7において、整定時間が目標値に適合するか否かを判定し、適合しておれば、終了し、否であれば、ステップ#8に進む。

【0049】ステップ#8において、ファジイ推論部10が、位置制御ループゲインを少し上げて、ステップ#3に戻り、オートチューニングを繰り返す。

【0050】以上の自動調整動作をY軸、X軸、H軸について実行する。

【0051】最後に、本実施例の直行ロボットの動作を説明する。予め設定された所定の作業位置において、作業用ツール22が作業する場合、Y軸テーブル13及び

X軸テーブル16を作動して、可動体19をY方向、X方向に移動させ、更に、作業ヘッド部20における位置認識カメラ21により作業位置を検出して位置調整し、位置認識カメラ21の軸心位置を作業位置に高精度に一致させる。この状態で、作業用ツール22を作動することによって高い位置精度で作業を行うことができる。

【0052】上記の動作において、Y軸、X軸、H軸は、夫々のサーボ制御装置が、予め、本実施例の自動調整動作により、オーバーシュートが小さく、整定時間が短くなるようにチューニングされていると、振動が小さく、しかも高速に高精度な位置決めが可能である。

【0053】本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の実施例に限らず、種々の態様が可能である。例えば、実施例では、繰り返し回数を5回、10回等としているが、5回、10回に限らず、システムに合わせた回数にすることができる。又、制御パラメータの遅減係数を実施例では、0.9としているが0.9には限らない。

【0054】

【発明の効果】本発明の自動調整サーボ制御装置は、自動調整において、制御パラメータを修正するだけではなく、発振の主原因になる加速度を、発振が発生しない低加速度を初期値とし順次増大して修正を繰り返し、制御パラメータを目標値に近づけているので、発振を発生させないで、制御パラメータを任意の初期値からスタートして修正できるという効果を奏する。

【0055】又、自動調整において、発振が発生した場合には、発振を直ちに検出して、制御パラメータの可変範囲の最大値を遅減して、発振を防止し、自動調整を継続できるので、機械特性が未知な位置決めシステムに対しても、自動調整が可能であるという効果を奏する。

【0056】又、位置決めシステムによって目標制御特性が変わっても、オペレータが容易に、目標制御特性を設定できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の自動調整サーボ制御装置の一実施例のブロック図である。

【図2】直行ロボットの平面図である。

【図3】本発明の一実施例のファジィ推論部の入力のメンバーシップ関数のグラフである。

【図4】本発明の一実施例のファジィ推論部の入力のメンバーシップ関数のグラフである。

【図5】本発明の一実施例のファジィ推論部の出力のメンバーシップ関数のグラフである。

【図6】本発明の一実施例のファジィ推論部の出力のメ

ンバーシップ関数のグラフである。

【図7】本発明の一実施例のファジィ推論部の出力のメンバーシップ関数のグラフである。

【図8】本発明の一実施例のファジィ推論部の出力のメンバーシップ関数のグラフである。

【図9】本発明の一実施例のファジィ推論部のファジィルールの図である。

【図10】本発明の一実施例のファジィ推論部のファジィルールの図である。

【図11】本発明の一実施例のファジィ推論部のファジィルールの図である。

【図12】本発明の一実施例のファジィ推論部のファジィルールの図である。

【図13】本発明の一実施例のファジィ推論方法の動作図である。

【図14】本発明の一実施例のファジィ推論方法の動作図である。

【図15】本発明の一実施例のファジィ推論方法の動作図である。

【図16】本発明の一実施例のファジィ推論方法の動作図である。

【図17】本発明の一実施例のサーボ制御曲線の図である。

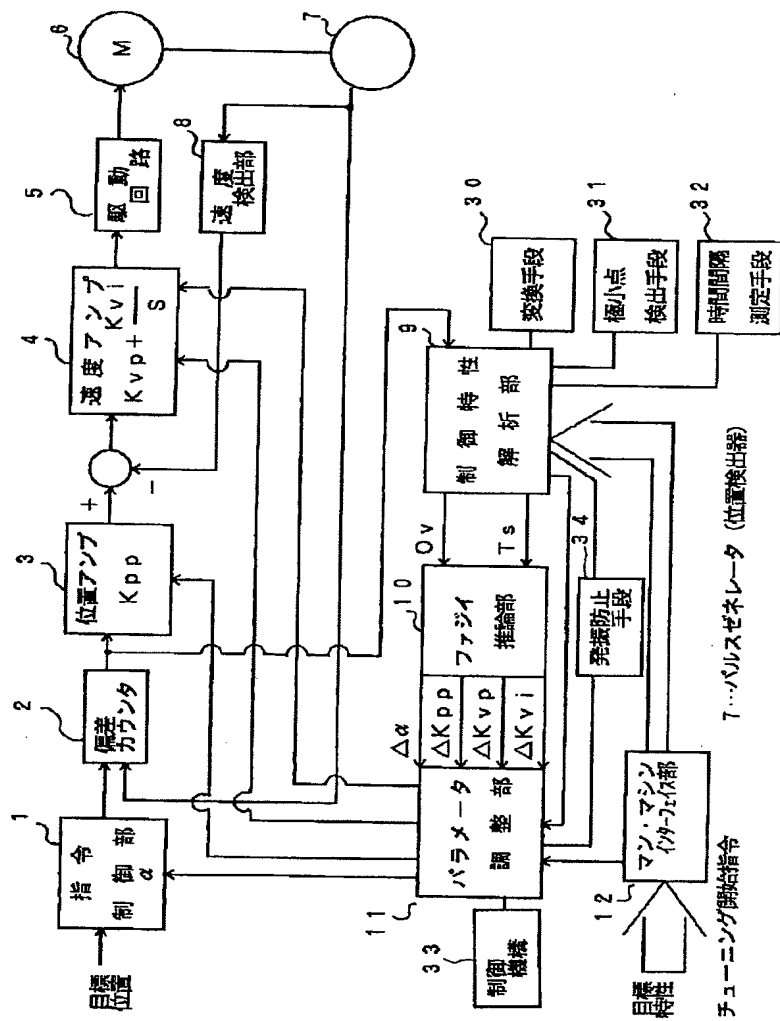
【図18】本発明の一実施例の動作を示すフローチャートである。

【図19】従来例のブロック図である。

【符号の説明】

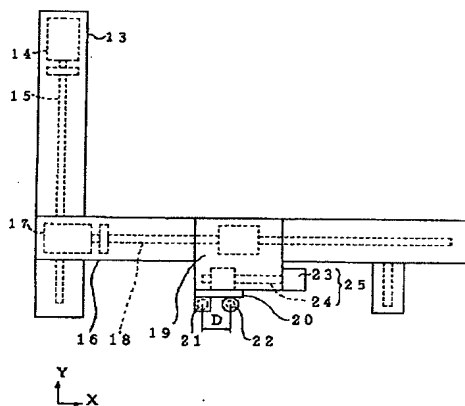
- 1 指令制御部
- 2 偏差カウンタ
- 3 位置アンプ
- 4 速度アンプ
- 5 駆動回路
- 6 モータ
- 7 位置検出器
- 8 速度検出部
- 9 制御特性解析部
- 10 ファジィ推論部
- 11 パラメータ調整部
- 12 マン・マシン・インターフェイス部
- 30 変換手段
- 31 極小点検出手段
- 32 時間間隔測定手段
- 33 制御機構
- 34 発振防止手段

【図 1】

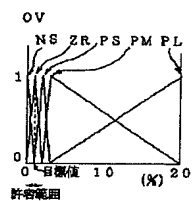




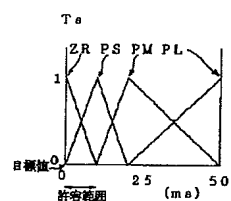
【図2】



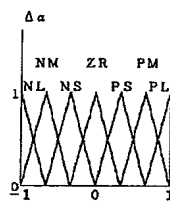
【図3】



【図4】



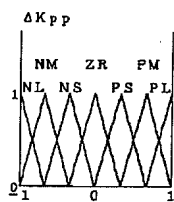
【図8】



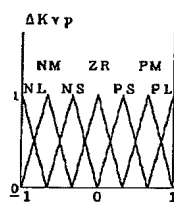
【図9】

$\Delta K_{pp}$					
$T_s$	OV	ZR	PS	PM	PL
NS		ZR	PS	PS	PS
ZR		ZR	PS	PS	PS
PS		ZR	ZR	ZR	ZR
PM		ZR	ZR	ZR	ZR
PL		ZR	ZR	ZR	ZR

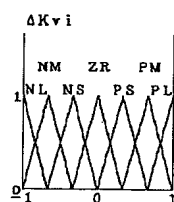
【図5】



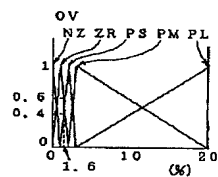
【図6】



【図7】



【図13】



【図10】

$\Delta K_{vp}$					
$T_s$	OV	ZR	PS	PM	PL
NS		NS	NS	NS	NS
ZR		ZR	ZR	ZR	ZR
PS		PS	PS	PS	PS
PM		PM	PM	PM	PM
PL		PL	PL	PL	PL

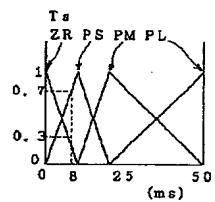
【図11】

$\Delta K_{vi}$					
$T_s$	OV	ZR	PS	PM	PL
NS		PS	ZR	NS	NS
ZR		PS	ZR	NS	NS
PS		ZR	ZR	NS	NS
PM		NS	NS	NS	NS
PL		NS	NS	NS	NS

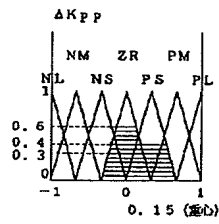
【図12】

$\Delta a$					
$T_s$	OV	ZR	PS	PM	PL
NS		PS	ZR	ZR	ZR
ZR		PS	ZR	ZR	ZR
PS		ZR	ZR	NS	NS
PM		ZR	NS	NS	NS
PL		ZR	NS	NS	NS

【図14】



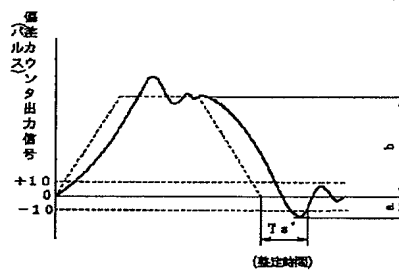
【図 15】



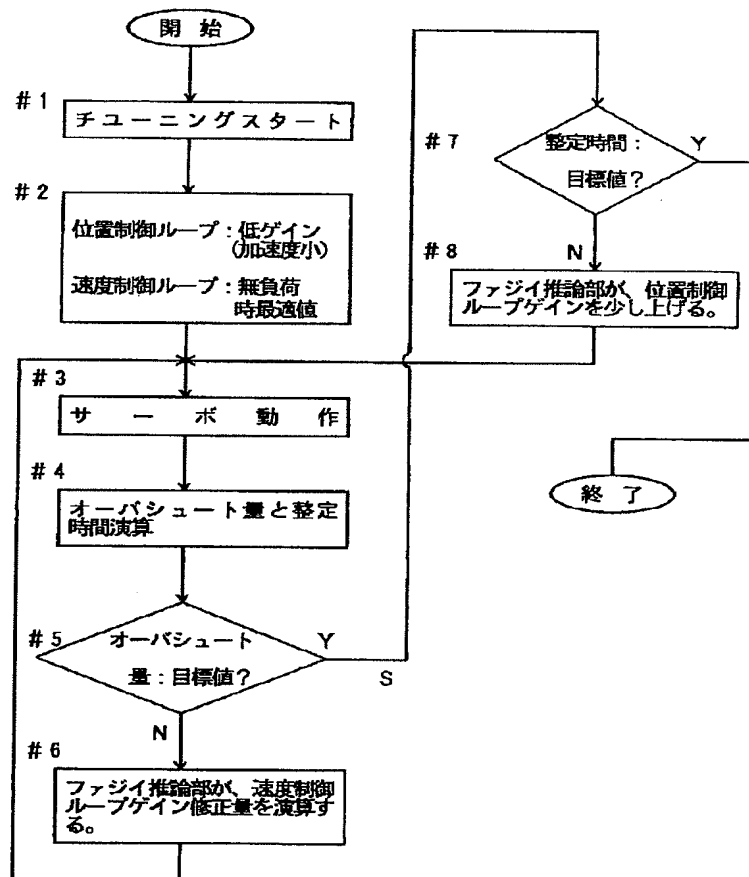
【図 16】

ΔKp pμ-ル混合度				
$\begin{matrix} T a \\ O v \end{matrix}$	Z R	P S	P M	P L
N S	—	—	—	—
Z R	Z R (0.3)	P S (0.4)	—	—
P S	Z R (0.3)	Z R (0.6)	—	—
P M	—	—	—	—
P L	—	—	—	—

【図 17】



【図18】



【図19】

